



## Ефикасно коришћење необновљивих минералних ресурса силикатног порекла у хабајућем слоју коловозне конструкције – студија случаја каменолома "Мрчићи"

Оливера Ђокић<sup>а</sup>, Сузана Стефановић<sup>а</sup>, Драган Сакић<sup>б</sup>, Драган Живановић<sup>б</sup>

<sup>а</sup> Институт за путеве ад, Београд

<sup>б</sup> Металфер доо, Сремска Митровица

### ПОДАЦИ О РАДУ

DOI: 10.31075/PIS.71.02.07

Стручни рад

Примљен: 17.05.2025.

Прихваћен: 12.06.2025.

Коресподент аутор:

o.djokic@highway.rs

#### ORCID ID

Оливера Ђокић: 0000-0002-8464-3673

Сузана Стефановић: N.A.

Драган Сакић: N.A.

Драган Живановић: N.A.

#### Кључне речи:

одржива производња  
минерални ресурси  
депоније  
животна средина  
СМА 8

### РЕЗИМЕ

Технолошки процес производње агрегата силикатног састава започиње истоваром одминираних материјала, где се комади камена примарно, секундарно и терцијарно дробе, а затим и сепаришу. Производне линије се на дробилично-сепарационом постројењу донекле могу прилагођавати потребама тржишта. У новије време, код нас је запажена велика потражња за скелетним мастикс асфалтом СМА 11 изразито скелетне структуре, у односу на предходно тражене асфалте бетоне. Ова потражња донекле ремети производне линије произвођача. Повећане су потребе за фракцијом 8/11 mm, у односу на остале. Као последица тога, на сепарационим постројењима се гомилају депоније осталих фракција, са нагласком на фракцију 4/8 mm. Овај дисбаланс отежава ефикасно управљање необновљивим минералним ресурсима остављајући негативан утицај на животну средину. У раду су изложени проблеми произвођача и дата су могућа решења за употребу овако депонованог материјала. Додатно, наглашена је потреба за интервенцијом државних институција, када су у питању решења која се тичу употребе и других асфалтних мешавина, која се већ увелико у свету користе.

### 1. Увод

Савременом друштву несумњиво су потребни агрегати за развој инфраструктуре и грађевинског сектора. Због тога, економско снабдевање агрегатима прихватљивог квалитета треба планирати [1]. Трогодишњи пројекат "Одрживо управљање каменим агрегатима – SARMA (Sustainable Aggregates Resource Management)" на подручју југоисточне Европе управо се бавио овим планирањем и пружио смернице за одрживим управљањем каменим агрегатима. Обухваћена је еколошки и економски прихватљива производња и коришћење природних и секундарних камених агрегата на начин који је дефинисан општим принципима одрживог развоја целог друштва [2].

У Србији се за потребе путне привреде највише користе природни дробљени агрегати силикатног и карбонатног састава, а еруптивног и седиментног и/или метаморфног порекла.

Када је у питању квалитет агрегата, за израду хабајућих слојева аутопутева и путева са врло тешким и тешким саобраћајним оптерећењем, доминантно је присуство силикатних агрегата. Кречњаци се углавном користе за путеве до средњег саобраћајног оптерећења и за битуменизиране носеће слојеве [3].

Агрегати се са припадајућим техничким карактеристикама користе за пројектовање различитих врста асфалтних мешавина. За израду хабајућих слојева аутопутева и путева са врло тешким и тешким саобраћајним оптерећењем код нас су се до 2000. године углавном користили асфалтни бетони и то АБ 11с и АБ 16с. Последњих деценија све више се користе мешавине типа скелетни мастикс асфалт СМА 11с.

Основни материјали за израду асфалт бетона и скелетног мастикс асфалта су фракционисани дробљени камени агрегат силикатног састава, дробљени песак 0/2 mm силикатног или карбонатног

састава, камено брашно карбонатног састава и везиво од полимер модификованог битумена. Поред наведеног, за израду скелетног мастикс асфалта, неопходна су и целулозна влакна.

Може се рећи да су асфалтни бетони добро градуиране мешавине са добром "укљештености" зрна и малом порозношћу. Применом полимер модификованог битумена као везива, асфалт бетонима се повећава отпорност на трајну деформацију (колотраге) и отпорност на затезање.

Скелетни мастикс асфалт је дисконтинуална мешавина са израженим каменим скелетом, односно скелетном структуром и битуменским малтером богатим везивом. Битуменски малтер је састављен од филера, допа, полимер модификованог битумена и стабилизирајућих влакана [4,5]. СМА мешавине су познате по својој отпорности на трајну деформацију (колотраге), високој издржљивости и отпорности на клизање. Висок садржај везива, који испуњава празнине између крупног агрегата, спречава старење битумена на високим температурама. Ово је значајно за наше подневље које у последње време карактеришу све више температуре, нарочито у летњем периоду.

Предности ових мешавина су смањење буке, која постаје све већи проблем у густо насељеним градовима, као и груба површинска текстура коловоза која гарантује неопходну храпавост површине пута. Варијација СМА, као што су СМА плус са већим садржајем шупљина, може значајно да смањи нивое буке у поређењу са АБ [6]. Почетни трошкови израде хабајућег слоја од СМА су генерално већи у односу асфалт бетоне са полимер модификованим битуменом као везивом, због већег садржаја битумена, висококвалитетног агрегата, уградње влакана и полимера [7]. Међутим, ниски трошкови одржавања и рехабилитације могу дугорочно надокнадити високе почетне трошкове СМА. У данашње време, код нас је наглашена потражња за скелетним мастикс асфалтом СМА 11 за аутопутеве као што је Рума – (Шабац), мост на Сави или Моравски Коридор, као и за деонице са тешким и врло тешким саобраћајним оптерећењем као што је брза саобраћајница Шабац - Лозница.

Са друге стране, производња овог типа асфалтне мешавине ремети класичну производну линију агрегата који је изграђују. Као последица тога на производном погону агрегата јавља се дисбаланс између депонија фракција насталих у процесу дробљења и сепарисања и фракција које су тражене на тржишту. Овај дисбаланс отежава ефикасно управљање ресурсима, доводи до стварања већих количина депонија и има негативан утицај на животну средину. Због тога, ови произвођачи не могу ефикасно да управљају производњом необновљивих минералних ресурса, којом би иначе стварали минималну количину отпада и последично чували животну средину.

Државне институције би требале да буду одговорне за развојне политике, регулативне оквире и економске подстицаје којима се обезбеђује повољна клима за економски успех компанија које се баве експлоатацијом дробљених агрегата код нас [1]. Ово указује да произвођачи не могу сами да се носе са новонасталим проблемима, већ да је помоћ државе у овом случају приоритетна.

Како би се умањио утицај наведених проблема, покушали смо да нађемо употребну вредност за вишак депонованих фракција ситног (0/2 mm и 2/4 mm) и крупног агрегата (4/8 mm) дијабаза у бетонској индустрији и за израду различитих асфалтних мешавина и површинских обрада на бази битумена.

## 2. Каменолом "Мрчићи"

### 2.1. Општи подаци

Каменолом "Мрчићи" налази се у западној Србији на обронцима планине Маљен. До самог каменолома долази се локалним путем који се одваја у дужини од око 3 km од државног пута IB реда број 21, деоница Ваљево – Каона – Косјерић у дужини од 21,1 km који пролази преко територије општине Ваљево и Косјерић [8].

Произвођач Металфер доо Сремска Митровица врши експлоатацију камена у каменолому. Елаборат о ресурсима и резервама дијабаза као техничко грађевинског камена у лежишту "Мрчићи" код Косјерића, стање на дан 01.03.2019. године, урадила је сама фирма са сопственим ресурсима [9].

Каменолом се налази непосредно уз истоимену сепарацију на којој се врши производња фракционисаног агрегата која подразумева дробљење стенске масе, прање и фракционисање тако добијеног материјала. Добијене фракције се користа за производњу бетона и израду асфалтних мешавина. Осим ових фракција, на сепарацији се производи и туцаник за израду застора железничких пруга и агрегат за израду носећих слојева путева.

### 2.2. Петрографски састав лежишта

Лежиште дијабаза је хомогеног петрографског састава. Стенска маса је тамнозелене до тамносиве боје. Масивне је текстуре. Равног је прелома, са финохрапавом преломном површином и оштрим ивицама лома. Испресецана је ретким калцитским и/или пренитским жицама беле боје. Микроскопски осматрано, стена се састоји од изукрштаних притки плагиокласа (око 50%) између којих се налазе зрна пироксена (око 30%), хлорита и пренита (око 15%). Поред овога, у стени су присутни металични минерали (око 5%).

Плагикласи се јављају у приткама дужине углавном око 0,3-0,7 mm, док су пироксени и хлорит присутни у изометричним до слабо издуженим зрнима величине углавном око 0,1 до 0,5 mm. Структура стене је офитска [10] [11]. У раседним зонама лежишта констатоване су брече где су комади дијабаза, центиметарских димензија, повезани белим боратом бејкеритом беле боје [12].

### 3. Технолошки процес производње

#### 3.1. Експлоатација

На површинском копу је отворено неколико етажа. Заступљен је дисконтинуални систем експлоатације са основним технолошким процесима који укључују откопавање и утовар откритке (јаловине), њен транспорт до одлагалишта и одлагање. Затим иде бушење и минирање, утовар одминираниог дијабаза и транспорт до дробиличног постројења након чега следи дробљење и просејавање (слика 1).

Откривка се откопава булдозером или хидрауличним багером. Утовар откритке се врши багером у камионе (дампере) и откривка се транспортује до одлагалишта. Планирање и депоновање материјала на одлагалишту врши булдозер.

Бушење минских бушотина у дијабазу врши се хидрауличном бушилицом. Минира се прашкастим, гранулираним и емулзионим експлозивима са нонел детонаторима са милисекундним интервалом успорења. Уситњавање вангабарита дијабаза врши се хидрауличним чекићем. Хидраулични багер утовара одминирани материјал у транспортна средства којима се транспортује до постројења за дробљење и просејавање. На слици 1. приказан је део изминираниог и уситњеног дијабаза који се помоћу хидрауличног багера утовара у камион и допрема на дробилично-сепарационо постројење које је лоцирано недалеко од каменолома.



**Слика 1.** Изминирани део лежишта дијабаза на каменолому "Мрчићи" (Извор, Д.Сакић, фебруар 2025.)

#### 3.2. Дробилично-сепарационо постројење

Дробилично-сепарационо постројење се састоји од једне чељусне Metso C125 и две конусне Metso HP300 дробилице (слика 2). Технолошки процес започиње истоваром одминираниог дијабаза 700+0 mm у прихватни бетонски бункер где се комади камена помоћу вибро додавача дозирају у чељусну дробилицу. Примарно издробљени дијабаз се транспортује на секундарно, а затим и терцијарно дробљење помоћу конусних дробилица. Издробљени материјал транспортним тракама одлази на вибро сито помоћу којег се просејава даље на фракције. Вибро сито (ТС 303) је сито на коме се перу све фракције до 11 mm. Оно има три просевне површине које дају одсева фракција 8/11 mm, 4/8 mm и 2/4 mm које се транспортним тракама пребацују на привремене депоније.



**Слика 2.** Дробилично-сепарационо постројење дијабаза на сепарацији "Мрчићи" (Извор, Д.Сакић, фебруар 2025.)

Просев 0/2 mm одлази у уређај за одводњавање "sandtrap" одакле се преко транспортне траке такође транспортује на привремену депонију. Емулзија муља и воде се помоћу филтер пресе рециклира тако да се вода враћа у систем, а исфилтрирани муљ се у облику погача товари у камионе и пребацује на одлагалиште.

#### 3.3. Производни програм

Примарни производни програм компаније Металфер доо из Сремске Митровице са сепарације "Мрчићи" су фракције 0/2 mm, 2/4 mm, 4/8 mm, 8/11 mm и 11/16 mm које се производе на основу две производне линије (Табела 1а). Прва и најчешће употребљавана линија је када се стенски материјал дробе и просејава на величину зрна до 11 mm (¼ удела у укупној производњи фракција) и друга, када се дробе материјал величине зрна до 16 mm (¼ удела у укупној производњи фракција). Обе производне линије дају различито процентуално учешће фракција. Осим фракција за производњу бетона и израду асфалтних мешавина, на сепарацији се за потребе железничке инфраструктуре повремено производи туцаник за израду застора железничких пруга величине зрна

гранулације 31,5/63 mm као и агрегат 0/31,5 mm за израду неvezаног носећег слоја. Капацитети производње су постепено повећавани од отварања каменолома 2007. године са сса 150.000 t на 500.000 t које су забележене 2024. године (Табела 16).

Дробилично-сепарационо постројење углавном ради пет дана у недељи, односно 250 дана у години. Тада се на дневном нивоу се произведе 2.000 t фракција капацитетом од 100 t/h које се испоручују на домаће тржиште. Узимајући у обзир нерадне дане као што су викенди, државни и верски празници или када дође до прекида производње услед неповољних временских услова, замене сита, ремонта производног постројења, кварова, поправки и слично, може се рећи да је просечна дневна производња на годишњем нивоу 1.370 t дневно.

**Табела 1.** Производни програм фракција на сепарацији "Мрчићи"

а) производне линије фракција

фракције	производна линија 0/11 mm	дневна производна линија 0/11 mm у току рада	производна линија 0/16 mm	дневна производна линија 0/16 mm у току рада	производна линија у 2024: ¾ (0/11mm) и ¼ (0/16mm)	дневна производна линија у 2024: ¾ (0/11mm) и ¼ (0/16mm) у току рада
(mm)	(%)	(t/дан)	(%)	(t/дан)	(%)	(t/дан)
0/2	25	500	20	400	24	475
2/4	14	280	7	140	12	245
4/8	33	660	29	580	32	640
8/11	28	560	20	400	26	520
11/16	0	0	24	480	6	120

б) дневна и годишња производња

фракције	дневна производња сепарације у току рада	просечна дневна производња на годишњем нивоу	годишња производња фракција у 2024.	годишња производња фракција у 2024. у односу на производну линију: ¾ (0/11mm) и ¼ (0/16mm) сепарације у току рада
(mm)	(t/дан)	(t/дан)	(t/год.)	(t)
0/2				118.750
2/4				61.250
4/8	2.000	1.370	500.000	160.000
8/11				130.000
11/16				30.000

(Извор, Д.Сакић, март 2025.)

## 4. Важећа регулатива

### 4.1. Регулотива везана за Наредбу о обавезном атестирању

Наредба о обавезном атестирању фракционисаног агрегата за бетон и асфалт [13] из 1987. године била је на снази све до 2020. године. Ова Наредба се, између осталог, ослањала на стандард за Пројектовање и грађење путева SRPS U.E4.014:1990 за израду хабајућих слојева од асфалтних бетона по врућем поступку, према чијим техничким условима је оцењивање перформанси и вредновање резултата агрегата вршено [14]. Интересантно је да је овај стандард још увек важећи иако је Наредба укинута. Према величини зрна и пореклу каменог материјала разликују се мешавине од асфалтних бетона од АБ 4 до АБ 22, при чему мешавине са силикатним агрегатима носе ознаку "с" (АБ 11с, АБ 16с и АБ 22с).

Пројекти рађени и извођени до 2000. године код нас нису предвиђали употребу СМА као битуменског слоја високе отпорности на колотраге, упркос томе што је мешавина развијена у Немачкој средином 1960-их и што је већ од тада успешно користе многе земље у Европи и свету [15].

Након ступања на снагу Правилника о техничким захтевима за фракционисани агрегат за бетон и асфалт [16] ситуација се није битно променила, зато што је овај документ у потпуности наслоњен на Наредбу, па се и вредновање агрегата врши по истом принципу за произвођаче за чији је производ додељен сертификат о сталности перформанси грађевинског производа (поступак ОВСП Правилника од члана 21. до члана 31.). Техничке карактеристике стенске масе и фракција са сепарације "Мрчићи" су у сагласности са поменутиим Правилником [16]. Фракције се могу користити за справљање бетона (који су изложени хабању и ерозији, затим чији је изглед површине услов квалитета, као и преднапрегнутог и армираног бетона) и израду асфалтних мешавина горњих носећих и хабајућих слојева коловозних конструкција на путевима свих група саобраћајног оптерећења.

Њихов квалитет се контролише у Лабораторији за камен и камене агрегате Института за путеве ад, Београд. Сертификационо тело поменуте институције издаје два сертификата произвођачу Металфер доо Сремска Митровица за сепарацију "Мрчићи". Први Сертификат је о сталности перформанси фракционисаног дробљеног природног агрегата за справљање бетона који се уграђује у бетонске конструкције и за израду монтажних бетонских елемената. Други је за израду асфалтних мешавина које се користе за израду горњих носећих слојева коловозне конструкције, којег је на тржиште ставио или учинио доступним произвођач.

## 4.2. Регулатива везана за градњу

У наредној табели (Табела 2) дат је приказ захтеваног квалитета песка и фракционисаног дробљеног каменог агрегата за израду асфалт бетона и скелетног мастикс асфалта за аутопут, врло тешко и тешко саобраћајно оптерећење.

Табела 2. Техничке спецификације и технички услови за грађење

	Техничке спецификације 2009 [17]	Технички услови за грађење 2012 [18]
	<i>Силикатног или карбонатног састава</i>	
Песак 0/2 mm	Уколико је садржај пунила (честице < 0.09mm) до 10% и задовољава гранулометријски састав и чистоћу (еквивалент песка, грудве глине, органске нечистоће). Уколико је садржај пунила 10% до 15 %, може се употребити само песак карбонатног састава чији је еквивалент песка > 60 %.	Удео ситних честица ≤ 0.063 mm (SRPS EN 933-1): f <sub>5</sub> (≤ 5%) Квалитет ситних честица: метилен плаво D ≤ 0,125 mm (SRPS EN 933-9) MB <sub>F</sub> 10 Дозвољен је и већи садржај ситних честица уколико је еквивалент песка (SRPS EN 933-8) SE <sub>60</sub> (≥ 60%) у дробљеној мешавини песка. Може се користити и песак произведен од стене која одговара захтеву PSV <sub>30</sub> .
Фракције дробљеног каменог агрегата - камена ситнеж	<i>Агрегат силикатног састава а еруптивног и/или метаморфног порекла:</i> Отпорност према дробљењу и хабању (SRPS B.B8.045, повучен) ≤ 16% Полирност (SRPS B.B8.120, повучен) ≥ 48 Процент обавијености зрна (SRPS U.M8.096, повучен): ≥ 100/90 %/90% Постојаност према мразу натријум-сулфатом (SRPS B.B8.044, повучен): ≤ 3% Упијање воде на фракцији 4/8 mm (SRPS ISO 6783:1999, повучен): ≤ 1.6 % Облик зрна 3:1 (SRPS B.B8.048, повучен): ≤ 20% Удео слабих зрна (SRPS B.B8.037, повучен): ≤ 3% Удео грудви глине (SRPS B.B8.038, повучен): ≤ 0.25 %	Удео дробљених зрна у мешавини крупних зрна: C <sub>100/0</sub> или C <sub>90/1</sub> Отпорност на дробљење (SRPS EN 1097-2): LA <sub>20</sub> или LA <sub>25</sub> Отпорност на полирање (SRPS EN 1097-8): PSV <sub>50</sub> Обавијеност зрна крупног агрегата (SRPS EN 12697-11): > 80% Отпорност (8/16mm) на смрзавање/одмрзавање (SRPS EN 1367-2): MS <sub>18</sub> или (SRPS B.B8.044, повучен) ≤ 5% Упијање воде (SRPS EN1097-6): WA <sub>24</sub> 1, може бити и веће ако се докаже да су зрна отпорна на мраз Облик зрна агрегата, d > 4 mm (SRPS EN 933-3, SRPS EN 933-4): F <sub>120</sub> или S <sub>120</sub>

## 4.3. Регулатива везана за рехабилитације

У оквиру Пројекта рехабилитације путева и безбедности, Републике Србије, у Плану контроле квалитета за испитивање материјала и конструкција дефисани су захтевани квалитета песка и фракционисаног дробљеног каменог агрегата за израду асфалт бетона и скелетног мастикс асфалта за врло тешко и тешко саобраћајно оптерећење. Приказ захтева дат је у табели 3.

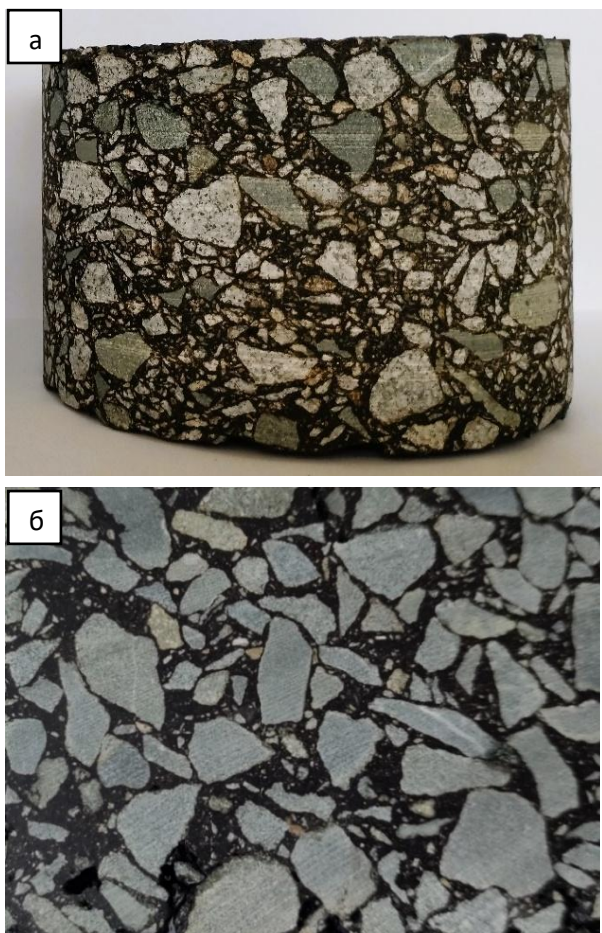
Табела 3. План контроле квалитета за рехабилитацију

Песак 0/2 mm	План контроле квалитета за испитивање материјала и конструкција 2017 [19] <i>Силикатног састава (еруптивно порекло) или карбонатног састава (седиментно и/или метаморфно порекло)</i> Еруптивни агрегат: f <sub>5</sub> Кречњачки агрегат: f <sub>10</sub> , може и већи садржај ако је еквивалент песка SE <sub>60</sub> Еквивалент песка (SRPS EN 933-8): SE <sub>60</sub> Квалитет ситних честица - Испитивање на метилен-плаво (SRPS EN 933-9): MB <sub>F</sub> 10 Одређивање садржаја органских материја (SRPS EN 1744-1): боја 3% раствора натријум-хидроксида не сме да буде тамнија од стандардне НАПОМЕНА: Уколико се користи песак кречњачког порекла камени материјал од кога се производи тај песак мора поседовати вредност Лос Анђелес-а на фракцији 8/11 mm, LA < 25%.
Фракције дробљеног каменог агрегата - камена ситнеж	Отпорност на дробљење (SRPS EN 1097-2): LA <sub>20</sub> Отпорност на хабање micro- Deval (SRPS EN 1097-2): M <sub>DE</sub> 20 Отпорност на полирање (SRPS EN 1097-8): PSV <sub>50</sub> Обавијеност крупних зрна битуменом (SRPS EN 12697-11): ≥90% Упијање воде (SRPS EN1097-6): WA <sub>24</sub> 1.6 или више уколико је отпоран на мраз Отпорност на смрзавање/одмрзавање (SRPS EN 1367-1): F <sub>1</sub> Облик зрна крупног агрегата, d ≤ 4 mm, (SRPS EN 933-4): S <sub>15</sub> ; Удео грудви глине (SRPS B.B8.038, повучен): ≤ 0.25 %

## 5. Асфалт бетон (АБ) у односу на скелетни мастикс асфалт (СМА)

Асфалт бетони су добро градуиране асфалтне мешавине, добре "укљештености" зрна и мале порозности (слика 3а). Адекватним пројектовањем минералне мешавине обезбеђује се: стабилност, трајност, флексибилност, отпорност на клизање површине коловоза, водонепропустљивост и уградљивост. Применом полимер модификованог битумена као везива, асфалт бетонима је повећана стабилност, односно отпорност на трајну деформацију (колотраге) и флексибилност, односно отпорност на затезање [4,5].

Скелетни мастикс асфалт је, са друге стране, дисконтинуална мешавина са израженим каменом скелетом и битуменским малтером богатим везивом (слика 3б). Његова изразито скелетна структура омогућава контакт сваког зрна агрегата. Овај контакт камен – на - камен у великој мери повећава отпорност на трајну деформацију (колотраге) [15]. Висок садржај везива повећава отпорност на затезање. Друге предности које су изражене код СМА су повећан отпор на клизање и смањење буке од пнеуматика због грубље текстуре површине. Минерална пунила и адитиви се обично додају да би се смањило одливање асфалтног везива током израђење, повећала количина асфалтног везива која се користи у мешавини и да би се побољшала трајност мешавине. Недостаци примене СМА су, пре свега, иницијални повећани трошкови производње од око 20% до 40% у односу на добро градуиране асфалт бетоне [7]. Ови трошкови проистичу због већег пројектованог садржаја битумена, висококвалитетног агрегата и уградње влакана и полимера, као и неопходне веће дисциплине приликом извођења асфалтних радова.



**Слика 3.** Асфалт бетон, где су заступљене све величине зрна агрегата (а); скелетни мастикс асфалт са повећеним садржајем фракције 8/11 mm (б)  
(Извор, С. Стефановић, март 2025.)

Међутим, наведене предности СМА омогућавају, са друге стране, ниже трошкове одржавања у односу на примену асфалт бетона. Дугорочно гледано, високи почетни трошкови се касније надокнађују нижим трошковима одржавања.

Велики државни пројекти за извођење, који су већ делом уградили или тренутно користе агрегате дијабаза са сепарације "Мрчићи" у асфалтној мешавини СМА 11 су Аутопут Рума – Шабац, од Аутопута Е-70 (петља "Рума") до моста на Сави и брза саобраћајница Шабац - Лозница где је извођач радова "AzVirt Ogranak Beograd", као и Државни пут првог А реда А5, називан Моравски коридор – извођач радова "Bechtel Enka UK Ltd".

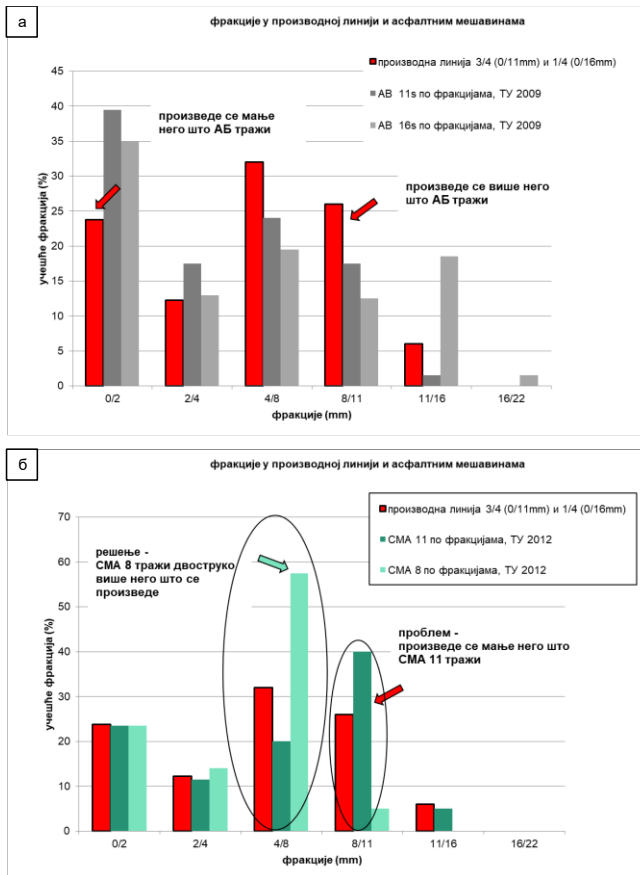
## 6. Проблеми произвођача и њихов утицај на животну средину

### 6.1. Дневна производња и стање депонија на сепарацији

На производном погону произвођача, у конкретном случају ради се о сепарацији "Мрчићи" али важи и за остале произвођаче агрегата силикатног састава, јавља се дисбаланс између фракција које настају као продукт технолошког процеса производње на дробилично-сепарационом постројењу и фракција које се на тржишту траже. Од отварања каменолома 2007. године до 2018. године отпремане само фракције за производњу бетона и израду асфалтних мешавина. Од 2018. године до данас појавила се потреба за туцаником за израду застора железничких пруга. Што се тиче фракција, заступљеност у продаји је била равномернија до 2024. године (слика 4а) када се смањила потреба за фракцијом 0/2 mm, али и фракцијама 2/4 mm и 4/8 mm. Овај дисбаланс нарочито је изражен ако пројектно решење за одређену деоницу укључује СМА у хабајућем слоју коловозне конструкције (слика 4б).

У овом случају, потребе за фракцијом 8/11 mm вишеструко се повећавају (40 % према идеалној криви за СМА 11 стандардизованог састава) у односу на остале фракције) [18]. Да би надокнадио потражњу тржишта, произвођач повећава производњу, испоручује тражене количине фракције 8/11 mm, а истовремено повећава депоније осталих фракција.

Одлагалишта сертифицираних фракција до употребе СМА 11 за изградњу и рехабилитацију путева нису била јако изражена. Материјал се за асфалтне бетоне се равномерније продавао. Са интензивнијом употребом асфалтних мешавина дисконтинуалног гранулометријског састава, разлике између произведених и продатих фракција постају све очигледније. Ово је уједно и почетак стварања "главобоље" за произвођача шта радити са депонијама материјала које нису нашле купца на тржишту.



**Слика 4.** Учешће фракција у производној линији дробилично-сепарационог постројења у односу на учешће фракција у асфалт-бетонима (а) и скелетном мастикс асфалу стандардизованог састава СМА 11 и СМА 8 (б)

У табели 4. приказана је годишња производња фракција у 2024. и тренутно стање депонија у марту 2025. године. Осим депоноване силикатне "нуле" у количинама од 18.000 t које се тренутно налазе на сепарацији "Мрчићи" приказане су и депоније фракција 4/8 mm и 2/4 mm.

**Табела 4.** Годишња производња у 2024. и депоније фракција у марту 2025. године

фракције	годишња производња фракција у 2024.	депоније фракција у 2025.	дневна производња фракција ¾ (0/11mm) и ¼ (0/16mm) у току рада	депоније изражене као број дана потребних за производњу фракција у односу на дневну производњу	депоније изражене у месецима
(mm)	(t/год.)	(t)	(t/дан)	(дан)	(месец)
0/2		18.000	475	38	1,3
2/4		<b>68.000</b>	245	278	<b>9,3</b>
4/8	500.000	<b>180.000</b>	640	281	<b>9,4</b>
8/11		500	520	1	0,03
11/16		100	120	0,8	0,03

(Извор, Д.Сакић, март 2025.)

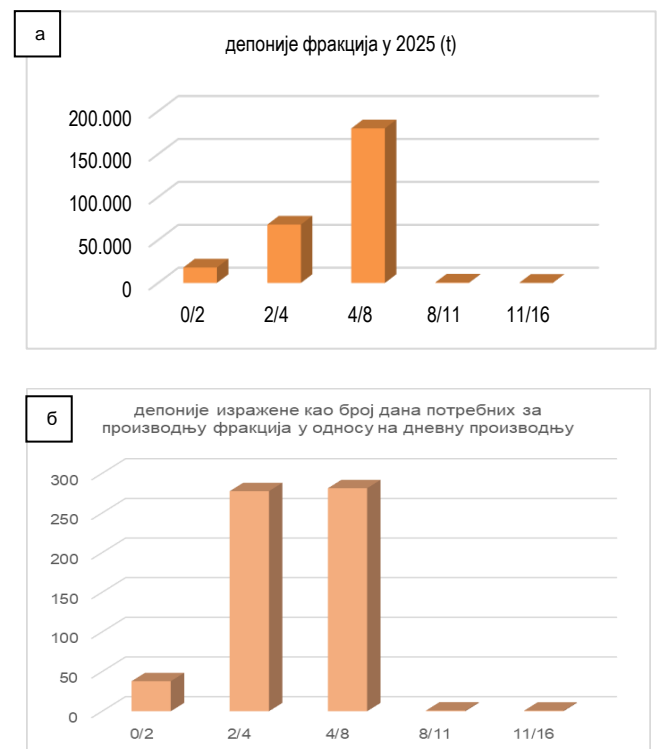
Њихове количине вишеструко превазилазе депоније фракције 0/2 mm што делује прилично забрињавајуће како за произвођача са једне стране, тако и у погледу оптерећења животне средине овим депонијама.

## 6.2. Одлагалишта различитог материјала произвођача

Металферова одлагалишта се могу поделити на одлагалишта сертификованих фракција дијабаза, откритке (јаловине) алтерисаног материјала, затим дијабазних погача који заостају после прања произведених фракција пресовањем исфилтрираног материјала и дијабазних бреча.

### 6.2.1. Одлагалишта сертификованих фракција

Дијаграм на слици 5а. приказује количину депонованих фракција које се налазе на стању у марту 2025. године на сепарацији "Мрчићи", а који показује да је највише депонована фракција 4/8 mm.



**Слика 5.** Количине депонованих фракција на сепарацији "Мрчићи" на стању у 2025. години (а); депоније истих фракција само изражене у данима потребним за њихову производњу у односу на дневну производњу сепарације у току рада (б)

Слика је другачија када се депоније истих фракција изразе у данима потребним за њихову производњу у односу на дневну производњу сепарације у току рада.

Дијаграм на слици 5б. показује да је подједнако дана потребно да би се произвеле депоније фракција 2/4 mm и 4/8 mm у односу на остале фракције. Ако депоноване дане сагледамо у односу на месеце у години, можемо рећи да су тренутно на сепарацији депоноване деветомесечне производње фракција 2/4 mm и 4/8 mm произведене у 2024. години.

Ове депоније се лако могу и са сателитског снимка препознати (слика 6а). Депоновани материјал је потребно негде привремено одложити и по фракцијама раздвојити (слика 6б). Произвођач проналази "ad-hoc" решења која се често у кратком временском периоду и мењају. Како време пролази, на депоније падају иглице од четинара, лишће од бреза и прашина коју "дичу" камиони који превозе агрегате. И тако, временом најскупљи производи необновљивих минералних ресурса силикатног порекла које у земљи имамо, прелазе у депоније фракција сумњиве чистоће и економске исплативости са значајним негативним отиском које ове депоније праве на животну средину.

За произвођача, ово представља велики материјални губитак, како због непродатих фракција, тако и због обавеза коју имају према држави. За животну средину, овај дисбаланс утиче на девастацију великих површина земљишта на које се депоније одлажу.

### 6.2.2. Одлагалиште откривке

Компанија Металфер скида откривку која настаје приликом откопавање стенске масе на каменолому. Скинути материјал који се састоји од земљаног материјала и комада алтерисаног дијабаза који утоварују багером у камионе (дампере) и транспортују до одлагалишта [20]. Планирање и депоновање материјала на одлагалишту врши булдозер.

### 6.2.3. Одлагалиште нуспроизвода насталог прањем фракција

Нуспроизвод настао прањем фракција дијабаза величине зрна до 11 mm, јесте финозрни материјал који се састоји 99% од дијабаза гранулације до 0,125mm, који је исфилтриран, а затим пресован у облику погаче са ниским садржајем влаге. Проласком кроз филтер, чиста вода се враћа у систем, а погача се издваја из пресе и лагује непосредно испред депоније материјала (слика 6в).

### 6.2.4. Одлагалиште дијабазних бреча

Каменолом располаже са још једним нуспроизводом који није продукт производње али се налази на каменолому. Настао је као продукт раседања стенске масе тектонским путем. У тим раседним зонама констатоване су брече изграђене од

угластих фрагмента дијабаза центиметарских димензија (слика 6г). Фрагменти су цементовани боратом бејкеритом беле боје [12]. За сада ове брече нису нашле употребну вредност, нити економску исплативост, али дефинитивно представљају уникатни архитектонски камен јединствене лепоте. Примену би могли наћи за уређења башта.

## 7. Анализа проблема и могућа решења

Проблеми несразмере између произведених и тржишно тражених фракција нису запажени само на сепарацији "Мрчићи". Слични проблеми постоје и код других произвођача агрегата силикатног састава. Проблеми су велики, и нису само њихови. Нарочито ако знамо да произвођача ових висококвалитетних агрегата код нас има мало, у односу на произвођаче карбонатног састава.

Компаније покушавају да нађу решења за употребу нагомиланих депонија, али наилазе на проблеме, пре свега на непрепознавање од стране тржишта. Разлози су бројни – сепарација је на планини па су транспортни трошкови велики; бехатон елементи од ових агрегата траже више цемента у односу на исте справљене са кречњачким агрегатима; боља су заобљенија зрна од тврдих и оштро угластих зрна силикатног порекла и тако даље. У међувремену, произвођач нагомилане депоније фракција премешта на нова одлагалишта. Свака додатна премештања поскупљују финални, иначе већ скупо примарно произведени производ.

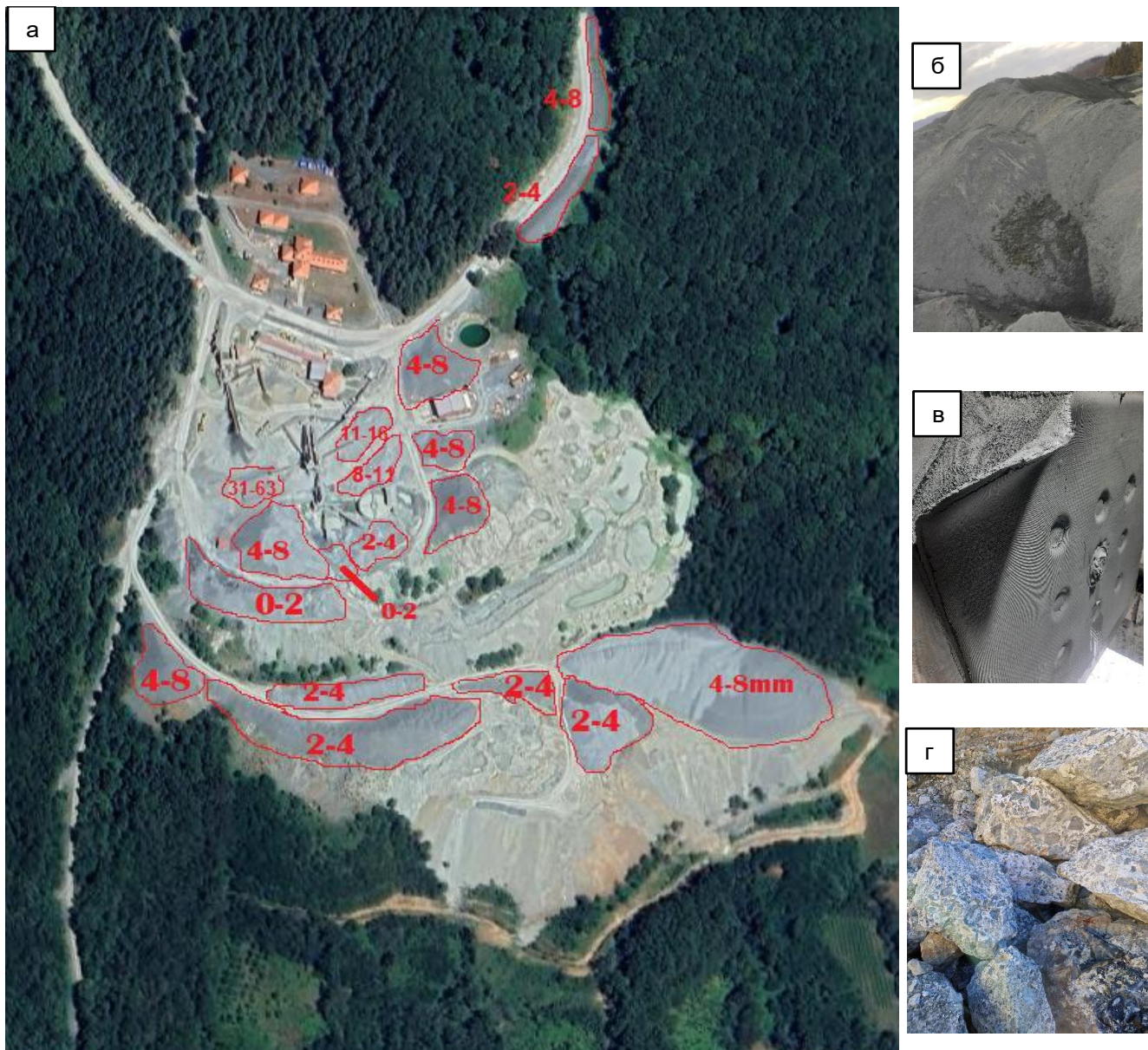
Незнатно су у бољем положају компаније које су произвођачи агрегата, али су у исто време и извођачи радова и имају сопствене асфалтне и бетонске базе. Они могу оптималније да управљају са производњом и уградњом својих агрегата. Ако су у питању само произвођачи силикатних агрегата, који су препуштени променљивим потребама тржишта, они се налазе у незавидном положају. У наредним редовима дали смо преглед могућих решења за употребу депонованих фракција.

### 7.1. Производња бетонских плоча (бехатон)

За производњу бетонских елемената (бехатон) за завршни слој елемената могу се користити фракције 0/2 mm и 2/4 mm дијабаза у циљу охрапљавања површина и повећања отпора при клизању. На слици 8. приказане су фракције ситног агрегата дијабаза.

### 7.2. Коловозни застор од бетонски плоча (бехатон) или плоча од природног камена

При изради коловозног застора од бетонских плоча (бехатон) или плоча од природног камена за нивелациони слој, могуће је применити мешавине



**Слика 6.** Депоније дијабаза на сепарацији "Мрчићи": сателитски снимак са означеним депонијама фракција (а); депониј фракције 0/2mm (б); дијабазне погаче (в); дијабазне брече (г), (Извор, (а) Google Earth, data attribution 8/4/2024; (б-г) Д.Сакућ, мапм 2025.)

камених зрна 0/2 mm, 2/4 mm или 0/4 mm, према Општи техничким условима 2012 (т.2.4.5 Калдрмисани застори) [18].

Према британском стандарду BS 7533-101:2021 Pavements constructed with clay, concrete or natural stone paving units, Part 101: Code of practice for the structural design of pavements using modular paving units, за нивелациони слој може користити камени агрегат 0/2 mm, 2/4 mm и 4/8 mm за мешавину GC85 2/6 mm.



**Слика 8.** Дијабаз са сепарације "Мрчићи" (а) фракција 0/2 mm; (б) фракција 2/4 mm  
(Извор, О.Ђокић, фебруар 2025.)

### 7.3. Охрапљивање површине ливеног асфалта

Како би застор од ливеног асфалта испунио захтеве са аспекта отпорности на клизање неопходно је извршити охрапљивање површине ливеног асфалта применом фракције 2/4 mm.

### 7.4. Танкослојне обраде (Slurry seal)

За ревитализацију застора државних путева са тешким и врло тешким саобраћајним оптерећењем могуће је применити танкослојну обраду SS 8 (Z1). На тај начин би биле употребљене све депоноване фракције (0/2 mm, 2/4 mm и 4/8 mm).

### 7.5. СМА 8

У нашој земљи тренутно се користи само скелетни мастикс-асфалт СМА 11, док се у европским земљама увелико користе и СМА 8 и СМА 8+ за хабајуће слојеве саобраћајница са тешким и врло тешким саобраћајним оптерећењем. Варијација СМА, СМА 8+плус је мешавина са измењеним саставом агрегата и са већим садржајем шупљина која може значајно да смањи нивое буке у поређењу са АБ и конвенционалним СМА [6].

Применом СМА 8 и СМА 8+ биле би употребљене све депоноване фракције у значајној мери како је показано на дијаграму на слици 4б. Ова врста мешавине би била значајна, на пример, за пројекте Рехабилитације и одржавања државних путева I реда и на оптерећенијим градским саобраћајницама у Републици Србији [21].

## 8. Закључци

Закључци који се могу извести из овог истраживања недвосмислено указују да постоји дисбаланс између производње агрегата силикатног састава и продаје фракција за хабајуће слојеве путева. Тражена је фракција 8/11 mm, док се остале фракције депонују у вишку. Могућа решења за употребу ових фракција у бетонској индустрији, пре свега за производњу бетонске галантерије, бехатон и нивелационих слојева бетонских плоча и плоча од природног камена, могу да буду решења која сам произвођач може да испрати путем директне продаје фабрикама бетона или покретањем сопственог бизниса, односно фабрике бетона у блиској околини сепарације.

Решења везана за употребу у асфалтним мешавинама, као што су застори од ливеног асфалта, танкослојне обраде (Slurry seal), СМА 8 и СМА 8+ за хабајуће слојеве саобраћајница, не могу да буду решења произвођача. Овде је интервенција државних институција неопходна. Мишљења смо да би надлежно Министарство и јавне институције у путној привреди, у будућем периоду требало да усвоје закон или подзаконска акта којима би се ближе дале смернице за решавање проблема. На тај начин би се подстакла примена асфалтних мешавина СМА 8, као наменског решења за рашчишћавање спорних депонија фракције 4/8 mm, а затим и за друге фракције.

Утицај надлежних институција које се баве заштитом животне средине требао би да се огледа у виду помоћи произвођачима да се ове депоније што пре уклоне, на начин што би били спона између произвођача који спорне фракције депонују и предузећа која обављају послове који се односе на развој и управљање државним путевима у Србији.

### Захвале:

Аутори се захваљују Драгану Ивановићу са сепарације "Раков Дол" на корисним информацијама око даље примене депонованог материјала. Такође се захваљујемо и Мирославу Марићу на сугестијама о изменама законске регулативе. Подаци коришћени у раду су искључиво власништво компаније "Металфер" доо Сремска Митровица и са њиховом сагласношћу су у овом раду објављени.

## Литература

1. SARMA. (2011). Kako postići efikasnost resursa agregata u lokalnim zajednicama, Priručnik. <http://www.sarmaproject.eu>
2. Симић, В., Радусиновић, С., Андрић, Н., Животић, Д., Миладиновић, З., Јовановић, Б., & Божовић, Д. (2016). Европски пројекти о каменим агрегатима у Србији и у Црној Гори. Геолошки Гласник, 37, 111–127.
3. Сертификационо тело И 063. (2025). Регистар издатих сертификата. Институт за путеве ад, Београд.
4. Цветановић, А., & Банић, Б. (2010). Флексибилна коловозна конструкција. In Илустровани технички услови за изградњу и поправку путева. Академска мисао.
5. Суботић, П. (1997). Приручник за асфалт. Институт за путеве ад, Београд.
6. Asphalt guidelines. (2023). Stone Mastic Asphalt. Deutscher Asphaltverband (DAV).
7. Hainin, R., Reshi, W. F., & Niroumand, H. (2012). The Importance of Stone Mastic Asphalt in Construction. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 17, 49–56.
8. ЈП Путеви Србије. (2023). Програма пословања ЈП „Путеви Србије“ за 2023. Годину.
9. Металфер доо. (2019). Елаборат о ресурсима и резервама дијабаза као техничко грађевинског камена у лежишту “Мрчићи” код Косјерића.
10. Ђокић, О. (2024). Извештај бр. 2024-883 о испитивањима стенске масе, из каменолома “МРЧИЋИ” намењене за производњу дробљеног природног агрегата за производњу бетона и израду асфалтних мешавина (р. 4).
11. Ђокић, О. (2016). Утицај минерално-петрографских карактеристика на микрохрапавост агрегата базичних стена Србије [Универзитет у Београду]. <https://nardus.mpn.gov.rs/handle/123456789/8319>
12. Васић, Н., Симић, Ђ., Симић, В., Дабић, П., Ерић, С., Брчески, И., Гајић, В., & Вулић, П. (2014). Минерал бејкерит као цемент у раседној бречи у дијабазима (Мрчићи, Дивчибаре). XVI Конгрес Геолога Србије, Доњи Милановац.
13. Службени лист СФРЈ. (1987). Наредба о обавезном атестирању фракционисаног каменог агрегата за бетон и асфалт. 41.
14. SRPS U.E4.014:1990. (1990). Пројектовање и грађење путева. Израда хабајућих слојева од асфалтних бетона по врућем поступку (Технички услови). Савезни завод за стандардизацију.
15. Vijay, V. G., Niveditha, M., & Raghavendra, S. (2023). Laboratory Studies on Stone Mastic Asphalt with varying fillers. E3S Web of Conferences, 405. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340503016>
16. Службени гласник РС. (2020). Правилник о техничким захтевима за фракционисани агрегат за бетон и асфалт.
17. ЈП Путеви Србије. (2009). Техничке спецификације (Vol. 4).
18. ЈП Путеви Србије. (2012). Технички услови за грађење путева у РС, 2 Посебни технички услови, 2.4. Коловозне конструкције (р. 28). ЈП Путеви Србије.
19. ЈП Путеви Србије. (2017). Техничке спецификације—ПКК, План контроле квалитета за испитивање материјала и конструкција (01 ed.).
20. Службени гласник РС. (2017). Уредба о условима и поступку издавања дозволе за управљање отпадом, као и критеријумима, карактеризацији, класификацији и извештавању о рударском отпаду.
21. ЈП Путеви Србије. (2017). Рехабилитација и одржавање на државним путевима I и II категорије у Републици Србији. ЈП Путеви Србије.

## Efficient Use of Non-Renewable Mineral Resources of Silicate Origin in the Wearing Layer of Roadway Construction – A Case Study of the Quarry “Mrčići”

**Olivera Đokić**

Institute for Roads JSC, Belgrade, Serbia

**Suzana Stefanović**

Institute for Roads JSC, Belgrade, Serbia

**Dragan Sakić**

Metalfer Ltd, Sremska Mitrovica, Serbia

**Dragan Živanović**

Metalfer Ltd, Sremska Mitrovica, Serbia

**Abstract:** The technological process of producing silicate aggregates begins with the unloading of mined material, where the pieces of stone are crushed primarily, secondarily and tertiary, and then separated. Production lines at the crushing and separation plant can be adjusted to some extent to market demand. Recently, there has been a high demand for skeletal mastic asphalt SMA 11, which has a distinctly skeletal structure compared to the previously demanded asphalt concretes. This demand somewhat disrupts manufacturers' production lines. The need for the 8/11 mm fraction has increased compared to the others. As a result, stockpiles of other fractions are accumulating at the separation plants, with an emphasis on the 4/8 mm fraction. This imbalance makes it challenging to manage non-renewable mineral resources effectively, leading to a negative environmental impact. The paper presents the problems producers face and provides possible solutions for utilising such deposited material. Additionally, the need for intervention by state institutions was emphasised when it comes to solutions regarding the use of other asphalt mixtures, which are already widely used worldwide.

**Keywords:** sustainable production, mineral resources, stockpiles, environment, SMA 8.